

INCIDENCIA DE NIVELES DE INTERVENCIÓN ANTRÓPICA SOBRE PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO EN COBERTURAS DE LOMERÍO (CAQUETÁ, COLOMBIA)

Anderson Irlén Peña Gómez, Carlos Hernando Rodríguez León & Juan Carlos Suárez Salazar

Artículo recibido el 03 de enero de 2013, aprobado para publicación el 31 de mayo de 2013.

Resumen

Las características físicas, químicas y biológicas de suelos tropicales son fácilmente modificadas por actividades antrópicas, sin embargo, el impacto y dinámica de estos cambios son poco entendidos en algunas regiones. Un mejor entendimiento de estas modificaciones permitirá desarrollar estrategias del uso de la tierra que eviten o minimicen la degradación de los suelos tropicales. El presente trabajo evaluó las alteraciones de las propiedades químicas en el horizonte A y B del suelo sobre cobertura de bosque, rastrojo y pastura, en niveles de intervención de la consolidación antrópica (alta, media y baja), en el paisaje de lomerío en el norooccidente de la Amazonia colombiana (suroccidente del departamento del Caquetá). Esta región se cataloga como bosque húmedo tropical, con suelos formados por rocas sedimentarias del terciario provenientes de la cordillera oriental, que pertenecen al *Grupo arenoso Mariñame o Terciario Superior* (SINCHI, 2007); predominan suelos del orden Oxisoles y Ultisoles clasificados como *Typic Paleudults* y *Typic Hapludults* (IGAC, 1993). Fueron analizadas 72 muestras de suelo. El pH, A.I., %SAI, %CO, CIC, BT, %SB, Ca, Mg y P disponible presentaron diferencias significativas entre los tres niveles de intervención y los horizontes del suelo. Todas las muestras presentaron concentraciones bajas en Ca, Mg, Na y P disponible, los valores más altos se presentaron en bosques. Las dinámicas de las variables edáficas debe ser un factor a tener en cuenta en el proceso de identificación de alternativas de manejo y recuperación de los recursos.

Palabras clave: Cobertura, vegetal, niveles, intervención, horizonte.

INCIDENCE OF THE ANTHROPIC INTERVENTION ON CHEMICALS PROPERTIES OF SOIL IN HILLY COVERS (CAQUETÁ, COLOMBIA)

Abstract

Physical, chemicals and biological features of tropical soils are easily modified by anthropic activities; however, the impact and dynamics of these changes are poorly understood in some regions. A better understanding of these modifications would permit to develop strategies of land use that avoid or minimize the degradation of tropical soils. Here, it was evaluated the changes of chemical properties in the A and B-horizon soil under forest, stubble, and pasture cover at levels of intervention of anthropic consolidation (high, medium and low), at the hilly landscape of north-west of the Colombia Amazonia (South-west of department of Caquetá). This region is classified as tropical rainforest, which presents soils composed of Tertiary sedimentary rocks, derived of the eastern mountains that belong to the *Mariñame Group or Tertiary superior* (SINCHI, 2007). Soils of the Oxisol and Ultisols order classified as *Typic Paleudults* and *Typic Hapludults* (IGAC, 1993) are predominant. Seventy-two samples of soil were analysed. The pH, AI, %IAS, %CO, CIC, BT, %SB, Ca, Mg and P showed significant differences between the three levels of intervention and soil horizons. For all samples were found low concentrations of Ca, Mg, Na and P available; the highest values were observed in forests. The dynamics of soil variables should be a factor considered in the identification process of management alternatives and resource recovery.

Key words: Cover, vegetable, levels, intervention, horizon.

INCIDÊNCIA DE NÍVEIS DE INTERVENÇÃO ANTRÓPICA SOBRE PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO EM COBERTURAS MONTANHOSAS (CAQUETÁ, COLÔMBIA)

Resumo

As características físicas, químicas e biológicas dos solos tropicais são facilmente modificados por atividades antrópicas, não entanto o impacto e dinâmica de estas mudanças são pouco entendidas em algumas regiões. Um melhor entendimento destas modificações vai permitir desenvolver estratégias de uso da terra que evitem ou minimizem a degradação de solos tropicais. O presente trabalho avaliou as alterações das propriedades químicas do horizonte A e B do solo sobre cobertura de bosque, restolho e pastagens, em níveis de intervenção da consolidação antrópica (alta, meia e baixa), na paisagem de montanhoso no noroeste da Amazônia colombiana (sudoeste do departamento de Caquetá). Esta região é classificada como floresta tropical, com solos formados por rocas sedimentárias do terciário provenientes da cordilheira oriental, que pertence ao grupo *areioso Mariñame ou Terciário superior* (SINCHI, 2007); predominam solos da ordem Oxisóis e Ultisóis classificados como *Typic Paleudults* e *Typic Hapludults* (IGAC, 1993). Foram analisados 72 amostras de solo. O pH, A.I., %SAI, %CO, CIC, BT, %SB, Ca, Mg e P apresentaram diferenças significativas entre os três níveis de intervenção e horizontes do solo. Todas as amostras apresentaram concentrações baixas de Ca, Mg, Na e P disponível, os valores mais altos se encontraram em florestas. As dinâmicas das variáveis edáficas devem ser um fator considerado no processo de identificação de alternativas de manejo e recuperação de recursos.

Palavras-chave: Cobertura, vegetal, níveis, intervenção, horizonte.

Introducción

Diferentes trabajos sobre la dinámica de la intervención antrópica con fines agropecuarios en la Amazonia colombiana demuestran la conformación de niveles de consolidación de intervención (estratos de intervención), cada uno de ellos con predominancia de sistemas productivos diferenciados por la intensidad y el tiempo de uso del suelo, nivel tecnológico aplicado y el impacto que ocasionan sobre los recursos naturales (SINCHI, 2007). Aún conocida la tendencia de comportamiento general de las variables químicas del suelo en la secuencia de intervención (bosque - cultivo - rastrojo - pastura) en los ecosistemas amazónicos, es necesario identificar hasta que punto las características intrínsecas de las dinámicas productivas al interior de los niveles de intervención muestran una tendencia general a originar diferencias significativas en el comportamiento de las variables edáficas en una misma unidad de paisaje. Un hallazgo en este sentido permitiría mejorar el enfoque de orientación tanto en el proceso de identificación de alternativas de manejo y recuperación de los recursos, como en la identificación de estrategias para la adopción por parte de los productores.

La Amazonia presenta una dinámica de cambios de las coberturas de la tierra, con la intervención de los ecosistemas naturales (bosques) para convertirlos en áreas de producción agropecuaria (Murcia *et al.*, 2009). Se reportan cambios de cobertura entre el 2002 y 2007, donde la Tasa Media Anual de Deforestación (TMAD) fue de $1.536 \text{ Km}^2.\text{año}^{-1}$ y la Tasa Media Anual de Praderización (TMAP) de $2.028 \text{ Km}^2.\text{año}^{-1}$ (Murcia *et al.*, 2011). Estos cambios de uso del suelo inciden en la arquitectura de la vegetación natural, lo que afecta el funcionamiento del ecosistema, la fertilidad natural de los suelos y acelera los procesos de degradación en las áreas intervenidas o colonizadas (Escobar *et al.*, 1998).

Escobar *et al.* (1998) reporta en cobertura de pasturas una erosión moderada cuyas pérdidas de suelo oscilan entre 7 y $13 \text{ Mg.hm}^{-2}.\text{año}^{-1}$ y calcula la desaparición del horizonte A entre 40 y 70 años; las áreas bajo cultivos transitorios y permanentes presentan erosión ligera con pérdidas de 1 y $3 \text{ Mg.hm}^{-2}.\text{año}^{-1}$, respectivamente, lo cual implica que el horizonte A puede durar entre 200 y 500 años; y en las áreas bajo bosque y rastrojos la erosión no es evidente, las pérdidas son del orden de $0,25 \text{ Mg.hm}^{-2}.\text{año}^{-1}$ y la duración del horizonte A sería mayor a 2.500 años.

La degradación del suelo es uno de los mayores problemas para el uso de la tierra en el trópico (Lal, 1994), se manifiesta en las modificaciones de las

características químicas, físicas y biológicas (Lal & Stewart, 1990). Estudios realizados por IGAC (1993), establecen que de $2.500.000 \text{ hm}^2$ intervenidas en el departamento del Caquetá, $1.000.000 \text{ hm}^2$ presenta degradación ligera, 400.000 hm^2 moderada y $1.100.000 \text{ hm}^2$ con grado severo de afectación. Se hace necesario rehabilitar estas áreas degradadas y prevenir con el desarrollo de prácticas agrícolas que contribuyan con el desarrollo sostenible de la Amazonia (Toledo, 1994) a través de sistemas que ayuden a conservar y producir (Young, 1989).

El monitoreo de parámetros físicos, químicos y biológicos, constituyen una herramienta que se debe implementar en la determinación de los atributos del suelo, asociados con las condiciones de equilibrio. Para tener un mayor conocimiento de estos cambios en el suelo, el presente trabajo tiene como objetivo evaluar las alteraciones en las propiedades químicas del suelo en el paisaje de lomerío en el noroccidente de la Amazonia Colombiana, en tres niveles de intervención de la colonización (alto, medio y bajo), en cobertura de bosque, rastrojo y pastura, para el horizonte A y B; en el marco del proyecto “Desarrollo de un sistema de indicadores para el monitoreo ambiental de paisajes ganaderos en la Amazonia Noroccidental Colombiana”.

Materiales y métodos

La evaluación de las propiedades químicas del suelo se realizó en el Noroccidente de la Amazonia colombiana, Suroccidente del departamento del Caquetá, entre los municipios de Morelia, Valparaíso, Solita y Solano. El estudio se desarrolló en una ventana del paisaje de lomerío, que presenta en promedio anual temperatura de $25,6^\circ\text{C}$, precipitación de 3.227 mm , 1.490 horas de brillo solar, viento promedio de $1,12 \text{ m.s}^{-1}$ y humedad relativa de $87,1\%$, clima clasificado como cálido húmedo y está catalogado como bosque húmedo tropical (BHT) (IGAC, 2010).

La zona de estudio corresponde al paisaje de lomerío de la Consociación Santiago de la Selva, con altitud entre 100 a 500 m.s.n.m. Los suelos son moderadamente profundos, bien drenados, color oscuro sobre pardo fuerte en superficie y rojo amarillento en profundidad, textura arcillosa, moderadamente finas en superficie y finas el resto del perfil; fertilidad baja, poca disponibilidad de Oxígeno, muy ácidos, baja saturación de bases, alta saturación de Aluminio, bajos contenidos de materia orgánica y bajos contenidos de Potasio y Fósforo (IGAC, 1993). Los suelos son formados por rocas sedimentarias del terciario, provenientes de la

cordillera oriental, pertenecen al Grupo Arenoso Mariñame o Terciario Superior (SINCHI, 2007); predominan en el área de estudio suelos del orden Oxisoles y Ultisoles, que se caracterizan por altas velocidades de meteorización resultantes del clima, altas temperaturas, elevada precipitación e intenso lavado. En aproximadamente el 80% predominan los suelos clasificados como Typic Paleudults y Typic Hapludults (IGAC, 1993).

Estudios realizados por García *et al.* (2002) en las zonas de colonización de bosque tropical amazónico en el departamento del Caquetá, relacionado con la tipificación y caracterización de los sistemas productivos y evaluación de impactos ambientales a nivel cualitativo de las principales actividades productivas, se obtuvieron tres niveles de intervención de la colonización. La zona de estudio se distribuyen en: intervención alta ubicada entre los municipios de Morelia, Valparaíso y Solita; intervención media en Solita e intervención baja en Solano. El mapa de coberturas utilizado en el análisis para la selección de las áreas de muestreo fue elaborado a través de la metodología CORINE Land Cover (2008), ajustado a Colombia en escala 1:100.000.

Para determinar el área de estudio, se realizó un reconocimiento previo de la zona, se seleccionaron las unidades del paisaje de lomerío con pendientes entre 12 y 25 %; los tratamientos evaluados fueron las coberturas de bosque, rastrojo, y pastura *Brachiaria decumbens* Stapf, en tres niveles de intervención; para cada una de ellas se realizó una cajuela de 50 centímetros en las dimensiones ancho, largo y profundidad, se midió la profundidad de los horizontes, se tomó el color en cada uno de ellos con la tabla de colores Munsell y se midió la profundidad efectiva de las raíces. En cada uno de los sitios de muestreo se registraron las coordenadas y altura sobre el nivel del mar con un GPS Marca GARMIN®.

Las muestras del suelo horizonte A y B, se colocaron en bolsas plásticas, rotuladas con el respectivo código y fueron enviadas al laboratorio de suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) en Bogotá, se efectuaron análisis de caracterización de suelos Q1. Las muestras de suelo fueron sometidas a análisis químicos: pH con potenciómetro, en relación agua: suelo 1:1; Aluminio (Al) intercambiable por extracción KCl; Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) y Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Potasio (K) y Sodio (Na) por extracción con Acetato de Amonio 1 normal neutro; porcentaje de Carbono orgánico (%CO) por digestión vía humedad Walkley-Black; Fósforo (P) disponible por Bray II modificado; bases totales (BT), porcentaje de

saturación de bases (%SB) y porcentaje de saturación de Aluminio Intercambiable (%SAI) (IGAC, 2006).

El diseño estadístico utilizado fue trifactorial donde se consideraron como factor (A) el nivel de intervención (alta, media y baja), (B) cobertura (bosque, rastrojo y pastura) (C) horizontes A y B. Los resultados se analizaron mediante un análisis de varianza (ANAVA) realizado con el programa Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2011); las medias se separaron mediante la prueba de LSD Fisher. Para comparar los usos del suelo y el horizonte de muestreo, expresado en cada una de las variables químicas del suelo y prueba de interacción de uso del suelo por horizonte, se hizo un análisis de varianza de acuerdo con el siguiente modelo matemático:

$$Y_{ijk} = \mu + NIs_i + Cb_j + Hor_k + NIs*Cb_{ij} + NIs*Hor_{ik} + Cb*Hor_{jk} + NIs*Cb*Hor_{ijk} + e_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijkl} = variable química del suelo

μ = media general

NIs_i = nivel de intervención i

Cb_j = cobertura j

Hor_k = efecto de horizonte k

$NIs*Cb_{ij}$ = interacción nivel de intervención por cobertura

$NIs*Hor_{ik}$ = interacción nivel de intervención por horizonte del suelo

$Cb*Hor_{jk}$ = interacción cobertura por horizonte

$NIs*Cb*Hor_{ijk}$ = interacción nivel de intervención por cobertura por horizonte

e_{ijkl} = error experimental

Se realizó una prueba de comparación múltiple para los efectos e interacciones que sean significativas y para determinar el aporte de las características del suelo a la variabilidad total, se efectuó un análisis de componentes principales. Se tomaron cuatro unidades de muestreo como repeticiones, para cada uno de los tres tipos de coberturas, con tres niveles de intervención y para cada horizonte A y B; para un total de 72 unidades de muestreo. Se realizó un análisis de componentes principales para determinar las correlaciones entre las variables químicas del suelo, con el objeto de determinar las similitudes y cercanías entre coberturas. Por último, la identificación de las variables químicas del suelo de mayor peso estadístico, permitió realizar un análisis discriminante y separar coberturas y conglomerados.

Resultados y discusión

Se presentaron diferencias estadísticamente significativas

($P<0,0001$) para el pH entre los tres niveles de intervención, coberturas y horizontes del suelo; entre las interacciones nivel de intervención por horizonte del suelo ($P<0,0249$) y entre las interacciones cobertura por horizonte del suelo ($P<0,0009$) (cuadro 1). Se encontró valores menores de 4,5 para todos los niveles de intervención, cobertura y horizontes, por lo que se clasifican los suelos como extremadamente ácidos, a excepción de la cobertura de pasturas en nivel de intervención alta ($\pm 4,48$) y media ($\pm 4,46$), para el horizonte B, las cuales se clasifican como muy fuertemente ácidos (Castro, 1998). El nivel de pH en pasturas presentó los valores más altos, en los tres niveles de intervención para el horizonte B, comparado con las otras coberturas (bosques y rastrojos), los niveles más bajos se presentaron en el bosque en el horizonte A, los valores son más bajos probablemente por la presencia de ácidos húmicos por descomposición de hojarasca (Primavesi, 1982; Gama, 2004). Similares resultados reportan estudios realizados por Serrão & Falesi (1977), Serrão & Homma (1982), Escobar & Ioriatti (1992) IGAC (1993), Numata (1999), Longo & Espíndola (2000) y Rosas (2011).

El pH en pasturas presentó valores más elevados posiblemente debido a que el estiércol de ganado en pastoreo controla los niveles de acidez originados por la presencia de Aluminio (Hue & Licunide, 1999); otros estudios demuestran que el pH baja en las pasturas como consecuencia de los carbonatos presentes en las cenizas dejadas por la quema del bosque (Serrão & Falesi, 1977; Serrão & Homma, 1982; Numata, 1999); éstos aportes de cenizas mejoran temporalmente otras propiedades químicas del suelo y reducen la %SAI. El A.I presentó diferencias significativas ($P<0,0001$) entre los tres niveles de intervención y las coberturas (Cuadro 1). Presentó los mayores valores en bosques en los niveles de intervención alta y baja, en el horizonte A; para intervención media los mayores niveles de A.I se presentaron en rastrojos, en el horizonte B; esto presenta una estrecha relación con los niveles bajos de pH que presentó la cobertura de bosque y rastrojo, iguales resultados presentan estudios de IGAC (1993). Los valores bajos A.I se presentaron en pasturas en el horizonte A, donde se presentaron los valores más altos de pH, iguales resultados reportan Escobar & Ioriatti (1992) y lo atribuye al efecto del sistema de manejo durante los últimos años. Suelos ricos en arcillas caolinitas y con elevada lixiviación como los estudiados tiende a liberar el A.I. (Escobar & Ioriatti, 1992).

El % SAI presentó diferencias significativas ($P<0,0001$)

entre los tres niveles de intervención y los horizontes del suelo, ($P<0,0008$) entre las coberturas, ($P<0,038$) la interacción nivel de intervención por cobertura y ($P<0,0005$) entre la interacción nivel de intervención por horizontes (Cuadro 1). Los promedios de las muestras, a excepción de pasturas en nivel de intervención media en el horizonte A ($\pm 44,1$), el %SAI presentó niveles mayores al 79%, lo cual interfiere en el desarrollo de la mayoría de los cultivos (IGAC, 1993). Los mayores valores de %SAI se presentaron para rastrojo en nivel de intervención alta y baja y en bosques en el nivel de intervención media para el horizonte B. Los valores más bajos se presentaron en pasturas en los tres niveles de intervención en el horizonte A. Altos valores en %SAI son los que determinan las condiciones de pH extremadamente ácidos y muy fuertemente ácidos en los suelos estudiados (IGAC, 1993). Los mayores %SAI se debe a que los suelos contienen altos contenidos de arcilla caolinita, la cual está formada por Al (Primavesi, 1982). La fuerte acidez de los suelos y los altos contenidos de Al del complejo de cambio, constituye un factor limitante del crecimiento vegetativo, como lo evidencia la reducción drástica de la rizósfera a partir de los 20 a 25 cm (IGAC, 1993).

El % CO presentó diferencias significativas ($P<0,0001$) entre la interacción nivel de intervención y cobertura, ($P<0,0289$) entre niveles de intervención, ($P<0,0234$) entre coberturas, ($P<0,0081$) entre los horizontes del suelo y ($P<0,031$) entre las interacciones niveles de intervención por cobertura por horizontes. El CIC presentó diferencias significativas ($P<0,0001$) entre los horizontes del suelo, ($P<0,0063$) entre los niveles de intervención, ($P<0,0047$) entre las coberturas y ($P<0,0016$) entre la interacción nivel de intervención por cobertura. El CIC presentó los mayores valores para bosques en el horizonte A y las más bajas en pasturas en el horizonte B, iguales resultados reportan Escobar & Ioriatti (1992).

Las BT presentaron diferencias significativas ($P<0,0025$) entre los horizontes; el Ca diferencias significativas ($P<0,0048$ y $P<0,0139$) entre los niveles de intervención y horizontes, respectivamente; y el Mg presentó diferencias significativas ($P<0,0001$) entre los horizontes del suelo y ($P<0,0021$) entre los niveles de intervención (Cuadro 1).

Los mayores niveles de %CO, CIC, BT, Ca y Mg se presentaron en el bosque para los niveles de intervención alta y baja, en el horizonte A, los cuales están íntimamente relacionados, probablemente con la alta cantidad de biomasa del bosque total que varía entre 100

Bs: Bosque; Rs: Rastrojo; Pai: Pastura *Brachiaria decumbes*; A: Horizonte A; B: Horizonte B; Ni: Nivel de Intervención; Cb: Cobertura vegetal; Hor: Horizonte; Ni*Cb: Interacción Nivel de Intervención por Cobertura; Ni*Hor: Interacción Nivel de Intervención por Horizonte; Cb*Hor: Interacción Cobertura por Horizonte; Ni*Cb*Hor: Interacción Cobertura por Horizonte; Ni*Hor: Interacción Nivel de Intervención por Cobertura por Horizonte. * y ** diferencias estadísticas del ($P<0,0001$) y ($P<0,05$).

		Bs			Pai			Rs						
		A	B		A	B		A	B					
Variable Intervención														
A.I	Alta	7,04	± 0,66	6,18	± 0,75	3,53	± 0,45	5,65	± 0,85	5,13	± 0,65	5,98	± 0,67	
	Media	2,47	± 0,23	3,68	± 0,71	2,02	± 0,59	3,39	± 0,84	2,65	± 0,45	3,70	± 0,25	0,5209
BT	Baja	6,58	± 0,42	5,33	± 0,40	3,03	± 0,26	3,12	± 0,29	5,26	± 0,56	4,84	± 0,34	
	Alta	2,94	± 1,97	0,53	± 0,25	0,96	± 0,19	0,61	± 0,07	0,88	± 0,17	0,33	± 0,04	
	Media	1,53	± 0,44	0,35	± 0,03	3,65	± 1,18	2,04	± 0,88	2,39	± 0,65	0,65	± 0,26	0,6426
	Baja	0,90	± 0,14	0,39	± 0,05	0,61	± 0,07	0,35	± 0,10	0,74	± 0,10	0,32	± 0,05	
C.O%	Alta	3,71	± 0,36	0,74	± 0,04	1,88	± 0,13	0,82	± 0,20	2,50	± 0,32	0,76	± 0,05	
	Media	2,77	± 0,25	0,60	± 0,05	2,66	± 0,30	0,65	± 0,05	3,43	± 0,29	0,77	± 0,07	0,031*
Ca	Baja	3,93	± 0,34	1,10	± 0,12	3,34	± 1,15	1,00	± 0,29	2,63	± 0,33	0,94	± 0,19	
	Alta	2,52	± 1,97	0,31	± 0,19	0,53	± 0,10	0,40	± 0,06	0,48	± 0,12	0,14	± 0,04	
	Media	0,92	± 0,37	0,16	± 0,01	2,92	± 1,04	1,02	± 0,52	1,53	± 0,58	0,39	± 0,22	0,406
	Baja	0,28	± 0,08	0,15	± 0,03	0,26	± 0,03	0,19	± 0,06	0,22	± 0,04	0,14	± 0,03	
ClC	Alta	19,97	± 2,03	13,76	± 1,59	12,61	± 1,19	12,46	± 1,54	15,85	± 1,42	12,52	± 1,13	
	Media	12,95	± 1,24	8,57	± 0,88	14,72	± 2,11	10,9	± 1,80	16,70	± 1,58	9,17	± 0,68	0,4449
K	Baja	23,30	± 1,92	13,99	± 1,71	13,47	± 2,25	9,55	± 0,91	16,99	± 2,08	12,07	± 1,21	
	Alta	0,10	± 0,01	0,06	± 0,01	0,12	± 0,02	0,05	± 0,01	0,11	± 0,01	0,06	± 0,01	
	Media	0,20	± 0,02	0,09	± 0,01	0,22	± 0,04	0,74	± 0,66	0,22	± 0,02	0,09	± 0,01	0,5398
	Baja	0,25	± 0,04	0,13	± 0,02	0,14	± 0,02	0,07	± 0,02	0,19	± 0,02	0,08	± 0,01	
Mg	Alta	0,27	± 0,07	0,11	± 0,06	0,26	± 0,07	0,11	± 0,02	0,26	± 0,06	0,07	± 0,01	
	Media	0,33	± 0,07	0,06	± 0,01	0,45	± 0,13	0,22	± 0,14	0,54	± 0,11	0,11	± 0,04	0,863
Na	Baja	0,28	± 0,03	0,08	± 0,01	0,11	± 0,03	0,05	± 0,01	0,26	± 0,05	0,06	± 3,90E-03	
	Alta	0,05	± 0,01	0,05	± 0,01	0,05	± 0,01	0,05	± 0,01	0,04	± 0,01	0,06	± 0,01	0,8226
	Media	0,08	± 0,02	0,04	± 3,70E-03	0,08	± 0,01	0,07	± 0,01	0,09	± 0,01	0,07	± 0,02	
	Baja	0,09	± 0,01	0,04	± 0,01	0,10	± 0,02	0,04	± 0,01	0,07	± 0,03	0,04	± 0,01	
P-Disp	Alta	7,11	± 1,06	0,95	± 0,22	4,63	± 1,84	2,29	± 1,03	5,89	± 1,59	1,07	± 0,18	0,8956
	Media	13,37	± 2,02	4,93	± 3,93	10,9	± 3,49	0,99	± 0,32	12,57	± 2,40	2,04	± 0,63	
Ph	Baja	6,17	± 0,90	1,60	± 0,30	3,27	± 0,72	1,77	± 1,07	4,39	± 1,00	0,67	± 0,22	
	Alta	3,49	± 0,04	4,17	± 0,07	4,46	± 0,07	4,48	± 0,06	3,81	± 0,08	4,19	± 0,07	0,2287
	Media	3,65	± 0,10	3,83	± 0,06	4,41	± 0,16	4,46	± 0,10	3,77	± 0,09	3,87	± 0,09	0,00001**
	Baja	3,44	± 0,04	3,84	± 0,05	4,03	± 0,08	4,08	± 0,09	3,49	± 0,03	3,81	± 0,06	0,0008*
SAI %	Alta	82,94	± 6,82	92,26	± 3,10	79,05	± 2,30	88,68	± 1,99	84,43	± 3,09	94,21	± 0,86	0,00001**
	Media	65,46	± 5,74	90,00	± 0,96	44,10	± 7,72	67,75	± 7,53	56,96	± 7,98	86,18	± 4,25	<0,0001**
SB %	Baja	88,39	± 1,12	93,18	± 0,72	83,30	± 1,36	89,2	± 3,33	87,10	± 1,66	93,53	± 1,00	0,0008*
	Alta	4,35	± 1,20	3,57	± 1,28	7,27	± 0,89	5,73	± 1,09	5,66	± 1,01	2,86	± 0,42	<0,0001**
	Media	10,81	± 2,15	4,35	± 0,32	20,62	± 4,08	18,23	± 7,56	14,58	± 3,91	6,86	± 2,37	0,0053*
	Baja	3,76	± 0,40	2,93	± 0,33	4,95	± 0,62	3,80	± 0,98	4,73	± 0,69	2,82	± 0,46	0,0453*

y 500 Mg.hm^{-2} (Escobar *et al.*, 1999b) comparada con las pasturas que varía entre 3,7 y $7,6 \text{ Mg.hm}^{-2}$ (IGAC, 1993). Mayores cantidades de biomasa producen más contenido materia orgánica (Primavesi, 1982; Longo & Espíndola, 2000; IGAC, 1993). En suelos bajo vegetación boscosa natural, se encuentra una delgada capa de litter (restos orgánicos en diferentes estados de descomposición) el cual juega un papel fundamental dentro del ciclo nutricional de los suelos amazónicos (IGAC, 1993). El humus formado como producto final de la materia orgánica al poseer alta CIC mejora la retención y el suministro de nutrientes (Amezquita & Escobar, 1994). La mayor parte del CIC para las diferentes coberturas y niveles de intervención se encuentran entre 10 y 20 meq. 100 g^{-1} , clasificándolas como media (Castro, 1998).

El %SB presentó diferencias significativas ($P < 0,0001$) entre los tres niveles de intervención, ($P < 0,0053$) entre las coberturas, ($P < 0,0294$) entre los horizontes del suelo y ($P < 0,0453$) la interacción nivel de intervención por cobertura (Cuadro 1). Para las pasturas en los tres nivel de intervención, en el horizonte A se presentó los mayores valores de %SB; Escobar & Ioriatti (1992) reportan iguales resultados y lo atribuye a los efectos de la quema y al reciclaje de las bases intercambiables, a través de los materiales vegetales y del estiércol del ganado. Los valores más bajos se presentaron para rastrojo en nivel de intervención alta y baja y para bosque media en el

horizonte B. Todos los promedios de %SB presentan promedios inferiores al 25%, clasificándola como baja (Castro, 1998). Estudios realizados por IGAC (1993) indican que más del 80% de los suelos del área de estudio tienen contenidos bajos en %SB, debido a la lixiviación efecto de la alta y continua precipitación y al material parental constituido por arcillas caolinitas del terciario y a la alta acidez del suelo (IGAC, 1993; Castro, 1998).

Relación entre las propiedades químicas del suelo y las coberturas

Se encontró diferencias significativas entre las coberturas a partir de lo encontrado en espacio discriminante soportadas en los ejes canónicos 1 y 2. Existe una relación entre nivel de pH y %CO con la pastura. El P y los elementos básicos se relacionaron con la cobertura de bosque y rastrojo (Figura 1). Rosas (2011) reporta diferencias en cuanto a las cantidades de nutrientes por cobertura, similar a lo encontrado en el presente estudio. Así mismo, diferentes autores como Rosas (2011), Ballesteros (1993) y Escobar *et al.* (1999a) reportan cambios por intervenciones y manejos de los suelos.

Mayores niveles de %CO en bosque que en pasturas, se puede atribuir a que las hojas de los árboles que dominan los bosques tienen mayores contenidos de materia orgánica que los pastos (IGAC, 1993). Esta materia

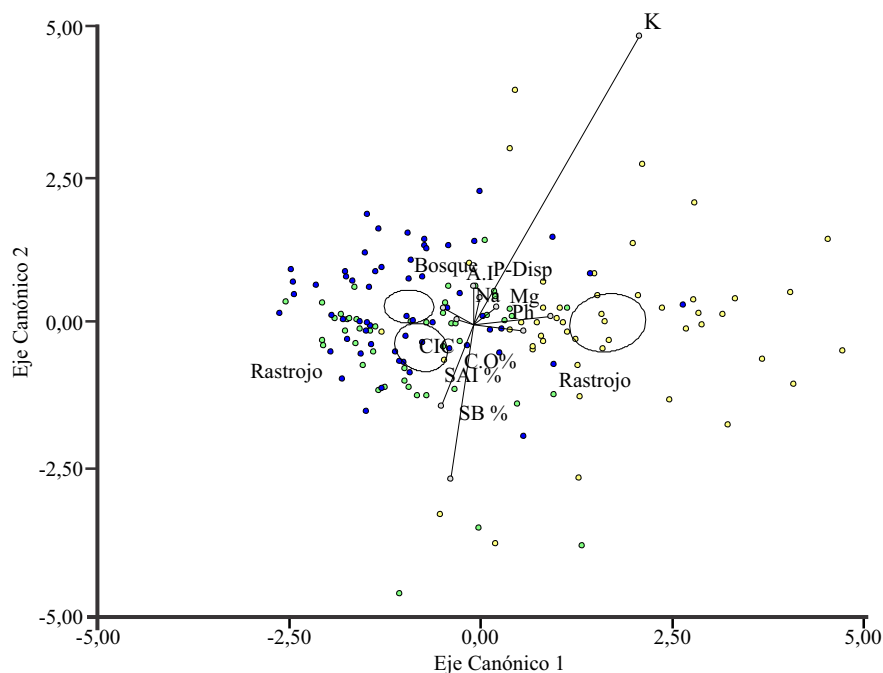


Figura 1. Representación de observaciones multivariadas en tres usos del suelo, definidos a priori en el espacio discriminante conformado por los ejes canónicos 1 y 2 del AD. Contornos corresponden a elipses de predicción.

orgánica favorece el suministro de nutrientes a corto y largo plazo (IGAC, 1993). Igualmente Longo & Espíndola (2004) reportan mayores concentraciones de %CO sobre bosques. Bajo pastura hay una mayor mineralización del C, que permite un rápido suministro de nutrientes, pero por las altas precipitaciones, una facilidad de pérdida por lavado (IGAC, 1993). La deforestación del bosque trae como consecuencia pérdida de grandes cantidades de materia orgánica (Amezquita & Escobar, 1994). La CIC presentó mayores contenidos en cobertura de bosque, iguales resultados reportan estudios de Longo & Espíndola (2000), probablemente debido a que mayor contenido de materia orgánica, disminuye el lavado de las bases del suelo y se aumenta la eficiencia de fertilización mineral (Castro, 1998). El CIC depende principalmente del contenido y naturaleza de la materia orgánica y las arcillas (IGAC, 1993).

Los suelos tropicales no cuentan con reservas de nutrientes considerables que puedan liberarse por meteorización de las rocas, y por lo tanto las especies vegetales dependen casi exclusivamente de los nutrientes provenientes de la descomposición de la hojarasca (García *et al.*, 2003). Las arenas conformados por más del 90 % por cuarzos en los paisajes de lomerío, no aportan ni liberan nutrientes y las arcillas caolinitas con baja CIC y pobres en minerales intemperizados presentes en los

suelos estudiados, determinan una pobreza extrema de nutrientes y bajo nivel de fertilidad (IGAC, 1993).

En cuanto al relacionamiento de las variables químicas del suelo con el nivel de intervención se encontró que variables como pH, C.O%, SB%, SAI% se ubicó con la alta intervención, para el nivel de intervención media relacionada con el P y CIC con la baja intervención (Figura 2).

El P disponible presentó diferencias significativas ($P < 0,0001$) entre los horizontes del suelo, ($P < 0,0005$) entre los niveles de intervención y ($P < 0,024$) entre la interacción nivel de intervención por horizontes (Cuadro 1). Para todas las muestras los niveles se clasifican en un nivel bajo (<15 ppm) (Castro, 1998). Los mayores niveles se encuentran en las pasturas en los tres niveles de intervención para el horizonte B y los valores más bajos en el bosque para el horizonte B. La baja disponibilidad del P en los suelos estudiados se puede atribuir a la deficiencia en el material parental, la alta saturación de Al, las altas concentraciones de Fe y Mn, la abundancia de caolinita en fracción arcilla, las que determinan una alta fijación de P y una escasa disponibilidad (IGAC, 1993; García *et al.*, 2003). Además los bajos contenidos de materiales orgánicos y de minerales portadores de este elemento, son esenciales para fundamentar su baja presencia (IGAC, 1993). La fijación del P es mayor a pH

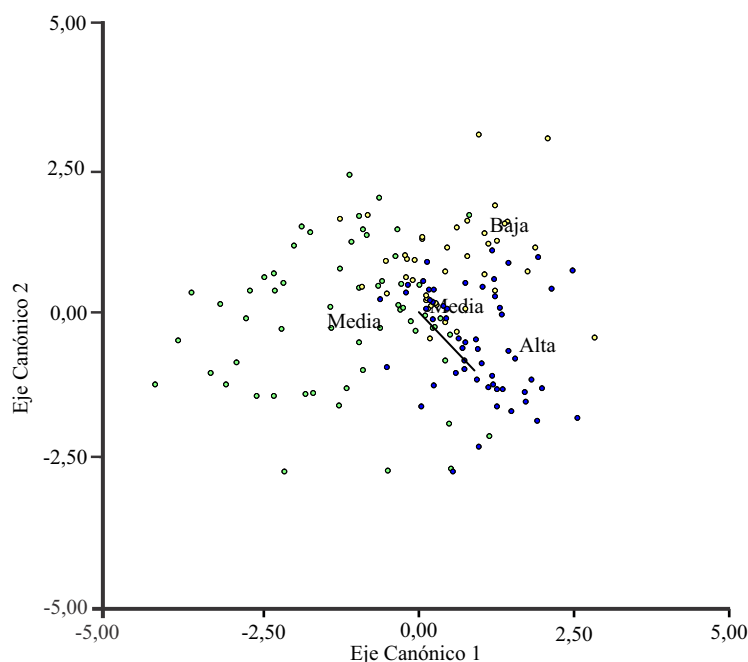


Figura 2. Representación de observaciones multivariadas en tres usos del suelo, definidos a priori, en el espacio discriminante conformado por los ejes canónicos 1 y 2 del AD. Contornos corresponden a elipses de predicción.

menores de 5, pues el Al y Fe forman fosfatos de Al y Fe, los que son insolubles y no asimilables por las plantas (Fassbender, 1982; IGAC, 1993; Castro, 1998). Las mayores concentraciones de P disponible se encuentran para el horizonte B en todos los niveles de intervención y todas las coberturas. La retención fosfórica en el horizonte A es menor que el horizonte B, IGAC (1993) reportan similares resultados. No se reportan diferencias entre las diferentes coberturas para P disponible, iguales resultados reporta Longo & Espíndola (2004). Las bajas cantidades de P disponible en los suelos estudiados es el nutriente más limitante en la producción de la Amazonia (Primavesi, 1982; IGAC, 1993; Numata, 1999).

El Ca, Mg y Na presentaron diferencias estadísticas entre niveles de intervención y horizontes; se presentaron para todas las muestras concentraciones de Ca ($<3 \text{ meq. } 100 \text{ g}^{-1}$), Mg ($<0,55 \text{ meq. } 100 \text{ g}^{-1}$) y Na ($<0,1 \text{ meq. } 100 \text{ g}^{-1}$), calificadas como bajas (Castro, 1998). El K no presentó ninguna diferencia estadística, las concentraciones entre $0,2$ y $0,4 \text{ meq. } 100 \text{ g}^{-1}$, presentan valores medios (Castro, 1998); resultados similares presentan Escobar & Ioriatti (1992).

Es importante cuantificar las cantidades de Ca, Mg, K, Na y P presentes en el ciclo de nutrientes entre la vegetación, hojarasca y horizonte orgánico del suelo, para determinar las cantidades reales de nutrientes en la dinámica de los suelos amazónicos. El Ca, Na y K presentaron una distribución irregular entre las muestras analizadas, comportamiento similar reportan estudios de Longo & Espíndola (2004). En el horizonte A se presentaron las mayores concentraciones, comparada con el horizonte B para todas las coberturas y niveles de consolidación. Los suelos de lomerío ya evolucionados y empobrecidos por proceso intensivos de denudación, manifiestan según los minerales presentes (caolinitas, gibsitita) prácticamente un estado final de alteración y puede predecirse en ellos condiciones de estabilización poco favorables y con fuertes limitaciones, ante todo para el aprovechamiento agrícola (IGAC, 1993).

Todos los suelos poseen un pH entre extremadamente ácidos y muy fuertemente ácidos; se presentaron diferencias significativas entre los tres niveles de intervención, las coberturas, los horizontes del suelo, la interacción nivel de intervención por horizonte del suelo y la interacción cobertura por horizonte del suelo; y las altas concentraciones de A.I y %SAI son los que determinan las condiciones de bajas del pH. Menores niveles de pH y mayores niveles de A.I y %SB se presentan en los bosques y rastrojos y Mayores niveles de pH y menores niveles de A.I y %SB se presentan en

pasturas para suelos de lomerío.

Los mayores niveles de %CO, CIC, BT, Ca y Mg se presentaron en el bosque para los niveles de intervención alta y baja, en el horizonte A, los cuales están íntimamente relacionados a la alta cantidad de biomasa del bosque, los valores para pasturas son inversamente proporcionales. Estas variables presentan diferencias estadísticas entre los tres niveles de intervención y los horizontes del suelo.

Existe una relación de pH y %CO con la pastura, de el P disponible y los elementos básicos con la cobertura de bosque y rastrojo; además una relación de pH, C.O%, SB%, SAI% con el nivel de intervención alta, de el P disponible y el nivel de intervención media y de la CIC con el nivel de intervención baja. El P disponible presentó diferencias significativas entre los niveles de intervención y los horizontes del suelo; para todas las muestras se presentaron concentraciones bajas. El Ca, Mg y Na presentaron concentraciones bajas; el K presentó concentraciones medias y no presentó ninguna diferencia estadística.

El nivel de consolidación de la intervención antrópica al interior de la unidad de lomerío en el área del Caquetá debe ser un factor a tener en cuenta tanto en el proceso de identificación de alternativas de manejo y recuperación de los recursos como en la identificación de estrategias para la adopción por parte de los productores. Aspecto que debe profundizarse mediante la evaluación de la relación entre componentes físicos y biológicos, con el ánimo de tener una mejor comprensión de los procesos.

Agradecimientos

Al Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI y su equipo de profesionales, por el acompañamiento financiero, logístico y la orientación para realizar esta investigación.

Literatura citada

- Amezquita, E. & Escobar, C. J. 1994.** Degradación de los suelos del trópico cálido. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali. 23 pp.
- Ballesteros, M. 1993.** Análisis de la biomasa y el inventario de nutrientes en ecosistemas naturales intervenidos y poco intervenidos. En: Malagón, D; Díaz, D; Saldarriaga, J; Rinuado, U. Aspectos ambientales para el ordenamiento territorial del occidente del departamento del Caquetá. Colombia. Tomo II. Capítulo IV: 1067-1219. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Bogotá, D. C.

Castro, H. 1998. Fundamentos para el conocimiento y manejo de suelos agrícolas: Manual Técnico. Instituto Universitario Juan de Castellanos. Tunja. 360 pp.

Corine land cover. 2008. Leyenda para la elaboración del mapa nacional de coberturas de la tierra según metodología corine Land Cover Colombia adaptada para Colombia escala 1:100.000.

Di Rienzo, J.; Casanoves, F.; Balzarini, M.; Gonzalez, L.; Tablada, M. & Robledo, C. W. 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>.

Escobar, C. J.; Zuluaga, J.; Gutiérrez, A.; & Yasnó, C. 1999a. Opciones silvopastoriles para mejorar la sostenibilidad de la ganadería en el Caquetá. CORPOICA. Bogotá D. C. 7 pp.

Escobar, C. J.; Zuluaga, J. J. & Rivera, E. 1999b. Algunos criterios para rehabilitar los suelos amazónicos degradados por el uso agropecuario. Plegable divulgativo. Corporación Colombiana de Investigaciones Agropecuarias, CORPOICA. Florencia.

Escobar, C. J.; Zuluaga, J. J. & Rivera, E. 1998. Aspectos de los suelos del departamento del Caquetá con relación al uso y manejo. Plegable divulgativo. Corporación Colombiana de Investigaciones Agropecuarias, CORPOICA. Florencia.

Escobar, C. J. & Ioriatti, J. L. 1992. Características químicas de un Ultisol del piedemonte amazónico (Caquetá- Colombia). Revista ICA 27:155-164.

Fassbender, H. W. 1982. Química de suelos, con énfasis en suelos de América Latina. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, IICA. San José, Costa Rica. 398 pp.

Gama, J. R. 2004. Solos: Manejo Interpretação. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA Amazônia Oriental. Belém. 183 pp.

García, J.; Cipagauta, M.; Gómez, J. E. & Julesmar, A. 2002 Descripción, especialización y dinámica de los sistemas de producción agropecuaria en el área intervenida del departamento del Caquetá. Corporación Colombiana de Investigaciones Agropecuarias, CORPOICA. Florencia. 60 pp.

García, J.; Cipagauta, M.; Fabio, T. & Trochez, J. M. 2003. Aplicación de conceptos agroforestales en procesos de recuperación de tierras degradadas y reorientación de su uso en áreas de colonización consolidada de la Amazonia Colombiana Corporación Colombiana de Investigaciones Agropecuarias, CORPOICA, Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria, PRONATTA. Florencia. 51 pp.

Hue, N. & Licudine, D. 1999. Amelioration of subsoil acidity through surface application of organic manures. Journal of Environmental Quality 28: 623-632.

IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). 1993. Aspectos Ambientales para el Ordenamiento Territorial del Occidente del departamento del Caquetá. Tercer mundo editores, primera edición. Santa Fe de Bogotá. 1.121 pp.

IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). 2006. Métodos analíticos del laboratorio de suelos. Sexta edición. Bogotá. 648 pp.

IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). 2010. Caquetá características geográficas. Bogotá. 376 pp.

SINCHI (Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas). 2007. Balance anual sobre el estado de los ecosistemas y el ambiente de la Amazonia colombiana 2006. Bogotá. 249 pp.

Lal, R. & Stewart, B. A. 1990. Soil degradation. Advances in Soil Science 11: 187-221.

Lal, R. 1994. Methods and guidelines for assessing sustainable use of soil and water resources in the tropics. USDA-The Ohio State University. SMSS Technical Monograph 21. 88 pp.

Longo, R. M. & Espíndola, C. R. 2000. Alterações em características químicas de solos da região amazônica pela introdução de pastagens. Acta Amazônica 30 (1): 71 -80.

Murcia, U.; Castellanos, H.; Fonseca, D.; Ceontescu, N.; Rodríguez, J. & Huertas, C. 2009. Monitoreo de los bosques y otras coberturas de la Amazonia colombiana. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. Bogotá D. C. 212 pp.

Murcia, U.; Huertas, C.; Rodríguez, J. & Castellanos, H. 2011. Monitoreo de los bosques y otras coberturas de la Amazonia colombiana, a escala 1:100.000. Cambios multitemporales en el período 2002 al 2007. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. Bogotá, D. C. 226 pp.

Numata, I. 1999. Avaliação da conservação de floresta para pastagem na Amazônia usando sensoriamento remoto e a fertilidade do solo. Tesis Mag Sc. em Sensoriamento remoto. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE. San José dos Campos. 104 pp.

Primavesi, A. 1982. Manejo del suelo: La agricultura en regiones tropicales. Sao Paulo. 499 pp.

Rosas, G. 2011. Incidencia de sistemas agroforestales con *Hevea brasiliensis* Muell sobre la edafología del lomerío intervenido del Caquetá (Colombia). Tesis Mg. en Agroforestería Universidad de la Amazonia. Florencia. 82 pp.

Toledo, J. M. 1994. El desarrollo sostenible amazónico en una economía de mercado: un análisis crítico. En: Memoria del Seminario Taller Biodiversidad y desarrollo sostenible de la Amazonia en una economía de mercado. Lima, Perú. 1 - 41 pp.

Serrão, E. & Falesi I. 1977. Pastagens do trópico úmido brasileiro. En: Simpósio sobre manejo de pastagens. Piracicaba. 177-247 pp.

Serrão, E. & Homma, A. 1982. Recuperação e melhoramento de pastagens cultivadas em áreas de floresta Amazônica. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA. Belém. 23 pp.

Young, A. 1989. Agroforestry for Soil Conservation. International Council Research Agroforestry, ICRAF. Wallingford, UK. 275 pp.

Anderson Irlén Peña Gómez

Ingeniero Agroecólogo, Mg. en Agroforestería. Investigador Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. Grupo de Investigación en Gestión Ambiental y Zonificación del Territorio: Amazonia Colombiana.

Carlos Hernando Rodríguez León

Médico Veterinario Zootecnista, Esp. en Recuperación de áreas degradadas en la Amazonia. Investigador Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. Grupo de Investigación en Gestión Ambiental y Zonificación del Territorio: Amazonia Colombiana.

Juan Carlos Suárez Salazar

Ingeniero Agroecólogo, M.Sc. en Agroforestería Tropical. Docente de carrera de la Universidad de la Amazonia. Grupo de Investigación en Agroecosistemas y Conservación en Bosques Amazónicos GAIA.

Autor para correspondencia:

E-mail: juansuarez1@gmail.com